

## **ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕГАПРОЕКТОВ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА**

Жусупбеков А.Ж., Лукпанов Р.Е., Утепов Е.Б., Омаров А.Р.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева  
г. Астана, Республика Казахстан

**АНОТАЦІЯ:** В статті описані загальні аспекти концепції пальових фундаментів, технології CFA і DDS, що використовуються в Мега-будівництвах Казахстану. Також представлені порівняння існуючих результатів польових випробувань паль з результатами методів RLT і центрифугою. Описано такі передові технології, як PИT і геомоніторингу.

**АННОТАЦИЯ:** В статье описаны общие аспекты концепции свайных фундаментов, технологии CFA и DDS, используемых в Мега-стройках Казахстана. Также представлены сравнения существующих результатов полевых испытаний свай с результатами методов RLT и Центрифугой. Описаны такие передовые технологии, как PИT и геомониторинг.

**ABSTRACT:** This paper describes the general aspects of the pile foundation concept, technologies as CFA and DDS used in Mega-projects of Kazakhstan. Also the paper illustrates comparisons between the existing field pile test results with the results of RLT and Centrifuge. Such advanced technologies as PИT and geo-monitoring are also mentioned.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Свайные фундаменты, несущая способность, осадка, гео-мониторинг.

### **ВВЕДЕНИЕ**

За последние 15 лет в Казахстане реализовано много уникальных Мега-проектов, немало еще находится на стадии реализации, особенно, в новой столице – Астане (рис. 1). Одним из наиболее привлекательных проектов является жилой массив «Абу-Даби Плаза», строительство которого началось 1 июля 2011 года. Его проект был разработан знаменитым архи-

тектором Норманом Фостером. По предварительной оценке, стоимость проекта превышает 1,5 млрд. долларов США. Это будет самым высоким зданием в центральной Азии и займет 14-ое место в мире по высоте. «Абу-Даби Плаза» - комплекс из нескольких башен, объединенных вокруг главного здания высотой 382 метров или 88 этажей (рис. 1). Высокие темпы строительства и появление высотных зданий привело к широкому использованию свайных фундаментов. Современное строительство ставит современные требования перед инженерами и конструкторами, и поэтому вместо традиционных решений дело дошло до использования новых экономически и экологически эффективных передовых технологий, таких как CFA (continuous flight auger), DDS (drilling displacement system).



Рис.1. Мега-проекты Казахстана

## КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Существующие нормативные документации Казахстана по проектированию свайных фундаментов устарели и не отвечают требованиям современных технологий. Стандарты нуждаются в пересмотре. На сегодняшний день концепция проектирования и устройства свайных фундаментов [3] находится в процессе модернизации (рис. 2).

Проектирование свайных фундаментов включает в себя два важных этапа анализа: несущей способности и осадки. Предварительное проектирование выполняется на основе инженерно-геологических исследований строительной площадки. Точность свайных конструкции как правило, зависит от точности данных, представленных в геологическом отчете. Окон-

чательный проект устройства свайных фундаментов корректируется после проведения полевых испытаний свай.

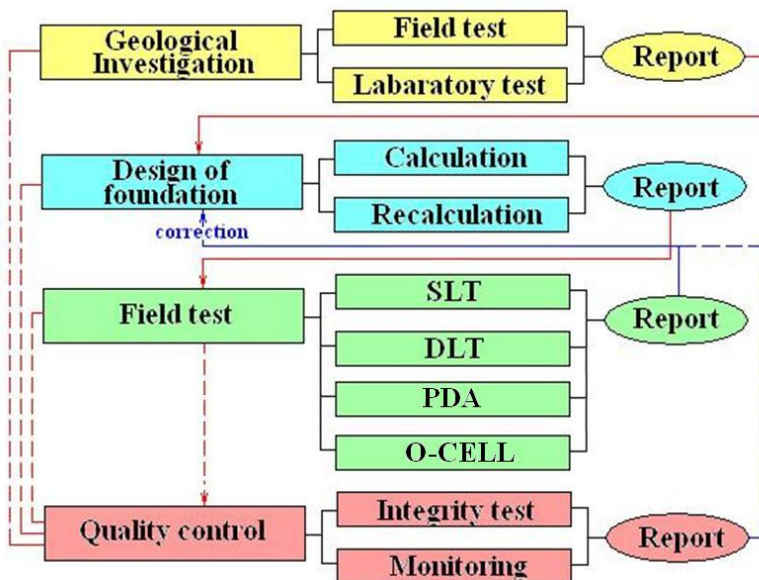


Рис. 2. Концепция свайных фундаментов

Классически несущая способность подразделяется на две составляющие: сопротивление ствола и верхушки сваи. В Казахстанских стандартах классическое уравнение было изменено и представлено следующим уравнением [1]:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i) \quad (1)$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент надежности;  $\gamma_{cR}$  и  $\gamma_{cf}$  – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи.

К сожалению, существующие стандарты Казахстана не учитывают уплотнение грунта под высоким давлением бетона при технологии CFA и перемещения грунта без выемки в случае технологии DDS, что приведет к снижению осадки и увеличению несущей способности свайных фундаментов. Поэтому было предложено использовать следующие коэффициенты условий работы грунта, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Предлагаемые коэффициенты условий работы грунта для свай технологии DDS и CFA

Тип свай	$\gamma_{cR}$	$\gamma_{cf}$
Забивная	1,0	1,0
Буронабивная	0,7...1,0	0,7
DDS (FDP)	1,3	1,0
CFA	1,0	1,0

### МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ СВАЙ

В Казахстане широко практикуются такие классические методы испытания свай, как статические и динамические. Как показывает опыт на строительных площадках Астаны, существуют некоторые различия между результатами статических и динамических испытаний свай. Более того, выяснилось, что результаты несущей способности свай зависят еще и от типа молота при забивке свай. Таким образом, результаты динамических испытаний, полученные при забивке свай гидро-молотом оказались более приближенными к результатам статических испытаний, иными словами – более надежными в сравнении с результатами, полученными при забивке дизель-молотом [2]. Коэффициент надежности, определенный сравнительным анализом данных множества динамических и статических испытаний свай, представлены на рис. 3.

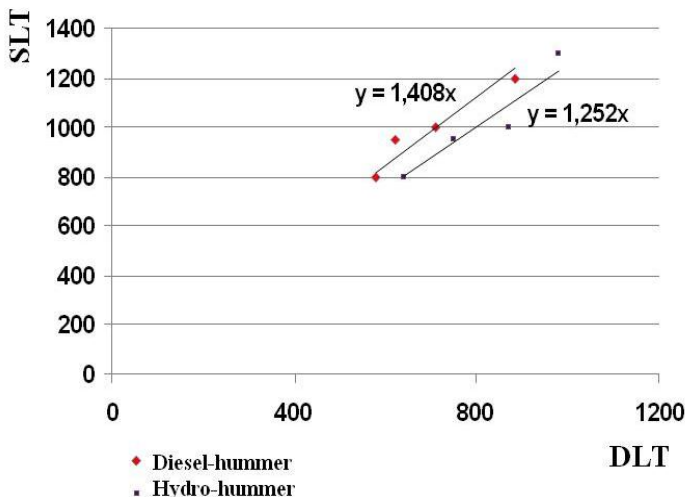


Рис. 3. Сравнения динамических и статических испытаний

Из вышеупомянутого следует, что и статические и динамические испытания имеют недостатки. Статические требуют много времени, работы и финансовых средств. Предписанное стандартами требуемое количество статических испытаний не достаточно, чтобы адекватно понимать состояния грунтов строительной площадки (только 2 испытания на 200 свай). Динамические испытания гораздо быстротечны, но не так уж надежны и применимы только к забивным сваям.

В данный момент в практике Казахстана в процессе адаптации находится один из альтернативных методов испытания свай, который не допускает недостатков и статических и динамических испытаний – Rapid Load Test (RLT). Метод RLT позволяет проводить до 10 испытаний свай в день. К тому же, он более экономичен, чем статические испытания свай [4]. Сравнительные графики статических и RLT испытаний, полученные Матсумото, подчеркивают надежность метода RLT (рис. 4).

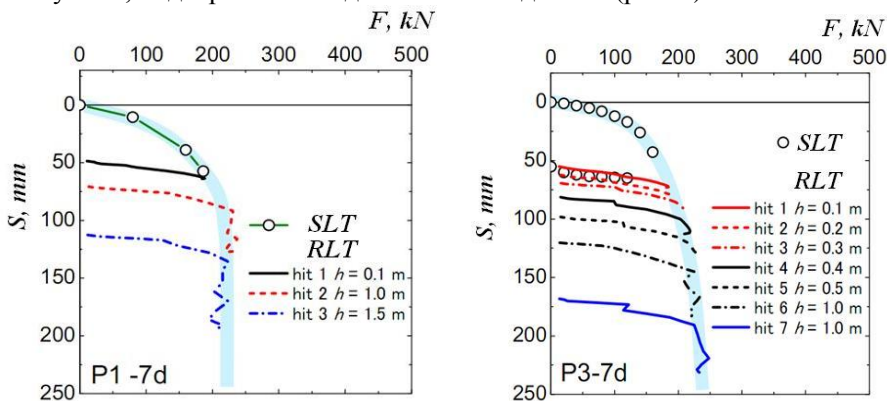


Рис. 4. Сравнения результатов статического и RLT методов

## ЦЕНТРОБЕЖНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Следует подчеркнуть также технологию центрифуги. Центробежное моделирование на сегодняшний момент является наиболее надежной техникой для проведения испытаний малых масштабов геотехнических ситуаций для прогнозирования их поведения в полномасштабных условиях. Было проведено несколько испытаний в центрифуге (рис. 5) Колумбийского университета (Нью-Йорк, США), целью которых являлась имитация натуральных испытаний свай статической нагрузкой для прогноза их поведения. Полученные данные были сопоставлены с результатами полевых испытаний свай, проведенных ТОО «KGS» на объекте – «Жилой дом» близ

пустыни «Бестас» Алматинской области, Казахстан. Результаты анализа представлены на рис. 6 [5].



Рис. 5. Колумбийская центрифуга

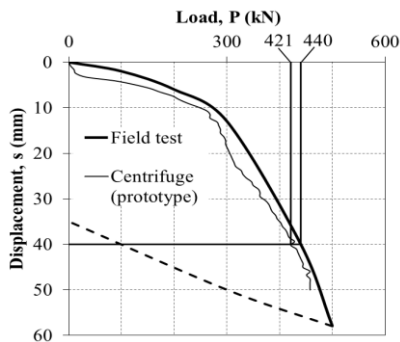


Рис. 6. Сравнение результатов полевых испытаний и центрифуги

## ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Что касается продвижений в контроле качества устройства свайных фундаментов, следует отметить, что метод РИТ (Pile Integrity Test) и гео-мониторинг становится наиболее применимым в Казахстане.

РИТ является одним из неразрушающих методов контроля качества свай. Этот метод позволяет проводить анализ сплошности всех видов существующих свай (бурунабивных, забивных, инъекционных и т.д.). РИТ основан на теории распространения волн в твердом теле и является одним из современных методов контроля качества используемым во всем мире. РИТ позволяет обнаруживать дефекты свай: приблизительную длину сваи, расширение и сужение сечения сваи, модификацию слоев грунта, неоднородность материала сваи, трещины в поперечном сечении сваи, внешний материал в теле сваи. Преимуществом РИТ в том, что портативное устройство легко носить с собой. Один оператор будет иметь возможность протестировать более 100 свай в день, в зависимости от условий площадки, подготовка головки сваи и подход к свае; минимальное влияние на строительные работы на площадке; значительные дефекты могут быть обнаружены в начале строительства. РИТ имеет некоторые ограничения: отражение нижней части иногда содержит ошибки в зависимости от состояния грунтов, маленькие отклонения (менее 5%) сечения сваи не могут быть идентифицированы. Согласно требованиям Казахстанских стандартов необходимо протестировать 60% бурунабивных свай и 50% от забивных свай.

Гео-мониторинг осадки фундаментов является одним из методов контроля качества, который может быть осуществлен во время и после строительства в период эксплуатации. Гео-мониторинг это косвенный контроль оценки установки свай. Его принцип заключается в том, чтобы вести отчет осадки именно выделенных участков конструкции, наиболее интересных для изучения. Гео-мониторинг начинается с начала строительства и позволяет выявлять дефекты устройства фундаментов.

## ВЫВОДЫ

Существующие стандарты свайных фундаментов, практикующиеся в Казахстане, устарели и нуждаются в срочной модернизации. В настоящей статье представлены очень краткие описания о грядущих изменениях в концепции проектирования свайных фундаментов.

Представленные аспекты современных технологий проектирования свай позволяют сделать более надежный прогноз несущей способности и осадки свай, которая стала очень важной для предварительного проектирования свайных фундаментов.

При конструировании СФА свай зданий и сооружений нужно будет учесть объем расширения скважин по результатам дополнительного давления, а также перерасход бетона, который зависит от состояния грунтов и длину свай. Значительные различия между несущими способностями DDS и обсадных буронабивных свай обусловлено недостаточным использование возможностей DDS. RLT позволяет тестировать до 10 свай в день и гораздо экономичнее, чем статические испытания, но не может быть использована в полном объеме на стройках Казахстана в связи с отсутствием стандартов.

Модельными испытаниями центрифугой можно прогнозировать реальное поведение грунтов или сооружений из грунта и определять их несущие способности. Кроме того данный метод может оказать значительный экономический эффект по сравнению с натурными испытаниями.

PIТ это неразрушающий метод, находящийся в процессе получения официального утверждения в Республике Казахстан, и позволяющий проводить контроль качества тела свай сразу после установки свай и даже после многих лет эксплуатации построенного здания. Гео-мониторинг это косвенный контроль оценки установки свай, который становится наиболее актуальным в особенности для высотных зданий.

Применение передовых технологий установки свайных фундаментов привели к значительному экономическому эффекту при возведении Мега-проектов в Казахстане. В ходе реализации этого проекта на практике впервые был применен комплексный подход к проектированию, тестированию

и контролю качества свайных фундаментов. Этот комплексный подход является гарантией качественного и эффективного строительства, который нуждается в дальнейшем развитии и применении на практике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свайные фундаменты: СНиП РК 5.01-03-2002.
2. Yenkebayev S.B. Comparison results of static and dynamic load test at the construction site of Astana / S.B. Yenkebayev, R.E. Lukpanov, A.Zh. Zhussupbekov // Proc. of Korea-Kazakhstan Joint Geotechnical Seminar. – Incheon, Korea, 2012. – P. 115-121.
3. Zhussupbekov A.Zh. Geotechnical issues of megaprojects on problematical soil in Kazakhstan / A.Zh Zhussupbekov, R.E. Lukpanov // Volume of Abstracts of ACEM 12. – Seoul, Korea, 2012. – P. 127.
4. A.Zh. Zhussupbekov. Geotechnical issues of megaprojects on problematical soil ground / A.Zh Zhussupbekov, R.E. Lukpanov // Proc. of 3<sup>rd</sup> ICNDSMGE-ZM 2012. – Nicosia, TRNC, 2012. – P. 67-75.
5. Модельные испытания свай в центрифуге для прогноза их поведения в натурных условиях / [Жусупбеков А.Ж., Утепов Е.Б., Шахмов Ж.А., Линг И.Х.] // Журнал ОФМГ №3, 2013. – М. – С. 7-9.

## REFERENCES

1. Pile foundations: SNiP RK 5.01-03-2002.
2. Yenkebayev S.B. Comparison results of static and dynamic load test at the construction site of Astana / S.B. Yenkebayev, R.E. Lukpanov, A.Zh. Zhussupbekov // Proc. of Korea-Kazakhstan Joint Geotechnical Seminar. – Incheon, Korea, 2012. – P. 115-121.
3. Zhussupbekov A.Zh. Geotechnical issues of megaprojects on problematical soil in Kazakhstan / A.Zh Zhussupbekov, R.E. Lukpanov // Volume of Abstracts of ACEM 12. – Seoul, Korea, 2012. – P. 127.
4. A.Zh. Zhussupbekov. Geotechnical issues of megaprojects on problematical soil ground / A.Zh Zhussupbekov, R.E. Lukpanov // Proc. of 3<sup>rd</sup> ICNDSMGE-ZM 2012. – Nicosia, TRNC, 2012. – P. 67-75.
5. Model tests of piles in a centrifuge to forecast their behavior in natural conditions / [Zhussupbekov A.Zh., Uteпов E.B., Shahmov Z.A., Ling I.H.] // Journal of BFMG №3, 2013. – P. 7-9.

Статья поступила в редакцию 20.11.2013 г.